

配列構造マイクロシステム用貫通配線ガラスに関する研究

| | |
|-----|---|
| 著者 | 李 興 華 |
| 号 | 2904 |
| 発行年 | 2002 |
| URL | http://hdl.handle.net/10097/8177 |

第1章は序論である。MEMS のパッケージング技術に関する歴史と現状、その材料、方法、機能、問題点およびその重要性についてまとめた。つぎに、コンパクトなパッケージングができるシリコンとガラスの陽極接合によるパッケージング技術について紹介し、その電気配線、構造および空間形成に不可欠な従来のガラス微細加工技術についてまとめた。その上で、本研究で導入した配列構造用マイクロシステム用の高密度配線ガラスの概念とその研究開発の意義について記した。

第2章では、本研究で開発した反応性イオンエッチング法によるパイレックスガラスの微細加工技術について述べた。パイレックスガラスの成分に起因するマスクパターン幾何形状に依存したエッチング特性を明らかにし、その影響が少ない貫通加工技術について述べた。マスク開口幅狭いほど側壁に堆積する不揮発性生成物量の比が低下するため、側壁への堆積量はパターン形状やサイズに依存する。穴径を 40-80 μm のサイズに設計すれば、ほとんど堆積物の影響を避けられることが分かった。圧電セラミックス PZT もパイレックスガラス同様にマスクの開口幅が狭いほどエッチプロファイルの断面が垂直に近付くことを見い出している。本技術により、シリコン同様にパイレックスガラスについてもフォトリソグラフィを用いた自由なデザインと貫通加工技術が可能になった。

第3章では、高密度貫通配線ガラスの製法について述べている。前章の貫通加工技術の研究結果をもとにパイレックスガラスに高密度の貫通孔加工を実施した。その後、スルーホールめっき法で金属を埋め込み、化学機械的研磨 (CMP : Chemical Mechanical Polishing) 法で余分の金属を除去し高密度配線ガラスを製作した。本章では、その製造プロセスのノウハウを詳細に述べるとともに配線ガラスの電気特性と温度サイクル試験による信頼性試験の結果について報告した。図2に陽極接合後の貫通配線ガラスの断面写真を示す。陽極接合後の剥離などは発生しなかった。また、配線ガラスの抵抗変化について、温度サイクル試験を行い、100回の試験後の抵抗変化率が3%以下であることを示し高い信頼性を持つこと明らかにした。このように、パイレックスガラスの DeepRIE 技術をもとに高密度貫通配線ガラスの製作に成功した。

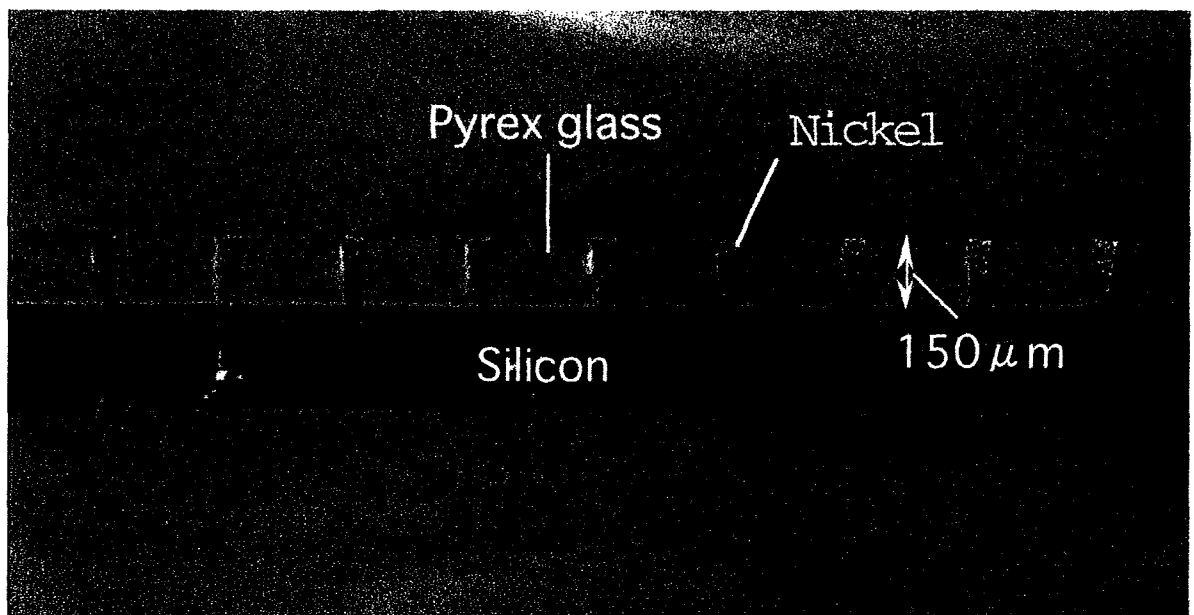


図2 シリコンと陽極接合した後の断面写真

第4章では、フェムト秒レーザーによるパイレックスガラスの貫通加工技術について述べている。堆積物が少ない加工とアスペクト比が 100 を超えるような高アスペクト比加工ができることを示した。また、反応性イオンエッチング法との貫通孔の製作時間の比較を行い、フェムト秒レーザーによる加工が有利な場合について述べた。

反応性イオンエッチング法によるガラス微細加工は、 $100\text{ }\mu\text{m}$ ピッチで、10000 個以上貫通孔を製作したい場合のような目的に適するが、孔の密度がこれより少ない場合には、レーザーを用いた方が、マスクレスである、加工に要する時間が短いといった理由から有利である。レーザーによる貫通孔加工は、堆積物の生成、マイクロクラック発生といった問題があるが、フェムト秒レーザーの出現によりこれらのデメリットは抑えられるようになってきている。我々のめざす配列構造を持つ高密度貫通配線ガラスの製作においても、孔の数が少なく高密度の孔の部位も存在するといった場合には、フェムト秒レーザーを用いた方が生産性ははるかに高いと考えられる。反応性イオンエッチング法は孔の数にほとんど依存しないことが強みであるが、加工時間が長い弱点がある。一方、フェムト秒レーザーによる貫通孔製作は、孔の数が 10000 個を超えるような場合には時間がかかりすぎてその使用は困難であるが、数 100 個の場合には Deep RIE 法より圧倒的に優れている。また、Deep RIE で不可能な厚いガラスの貫通孔の製作も容易であり、デザインに応じたガラス加工法の選択が必要であることが分かった。

第5章では、電気めっきの終点検知の方法と周期的逆電流パルス法などの電気めっき技術を組み合わせたオーバーめっきの抑制できるスルーホールめっき技術について述べた。この技術を用いて、製造工程に CMP を必要としない貫通配線ガラスウェハの製造が原理的に可能であることを明らかにした。第3章で述べたように、スルーホールめっき後の最終工程では表面まで過剰に成長した余分な金属を化学機械的研磨 (CMP) で除去している。これは、余分にめっきされた金属が次のプロセス工程を障害するためである。マイクロデバイスにおいては、このオーバーめっきされた金属の体積がとくに大きいため、CMP に要する時間が非常に長くなるのが問題である。例えば、 $100\text{ }\mu\text{m}$ オーバーしたとすると、典型的な銅の CMP の研磨スピード、数 100nm/min から、研磨に要する時間は 10 時間のオーダーになることが分かる。また、キャップ上に突出した金属はパッドに傷を与えるため研磨パッドの交換頻度が高くなる。このように、マイクロデバイス製造工程へ CMP を適用する場合には半導体製造プロセスよりも明らかにコスト高になる。この CMP に要する時間を省略化するためにスルーホールからオーバーしためっきした金属のボリュームを最小限にしなければならない。われわれは、この問題を解決する 1 つの方法として、終点検知可能なスルーホールめっき技術を開発した。本研究では、従来の電流積を用いた方法やめっき浴の外へ取り出して評価する方法ではなく、めっき浴中で実施可能な電気めっきの終点検出方法を提案し実施した。高アスペクト比の貫通孔にめっきを埋め込む場合には、あらかじめ、金などの再溶解されないメタルが表面についたガラスウェハを用いて貫通孔を形成しスルーホールめっきを行った。このメタルには、Deep RIE で貫通加工した時のシード層の金をそのまま使用することができるので、プロセスが容易である。この電気めっきの終点検出法は本研究のような貫通配線ガラス製作の化学機械的研磨の手間を省くという目的だけでなく、LIGA プロセスなどの電鍍を用いたプロセスで厚さの揃った部品を製作したりする場合にも有効である。

第6章では、東北大学江刺研究室にて共同研究者らにより製作された、本研究の高密度貫通配線ガラス製作技術とシリコンのマルチプローブ製作技術との技術融合による、超音波イメージャー用サーマルメカニカ

ルリレー、データ集録用マイクロプローブアレイといった新しいマイクロデバイスシステムの製作例を紹介している。マイクロマシニング技術の長所の一つは、サイズ、品質の揃ったマイクロ構造を一括で大量に生産できることにある。この長所は多数のマイクロ構造を配列化させたマイクロシステムの製作においても有効である。カンチレバータイプのマイクロ構造体をシリコンマイクロマシニングで製作する技術はほぼ確立している。この構造体を単体で利用するのも複数以上で利用するのも製造技術の立場からは同等である。カンチレバーを複数以上で利用する応用例として LSI の信頼性評価用のテスター、超音波イメージャー用サーモメカニカルリレー、データ集録用のマルチプローブデータストレージなどのマイクロデバイスが考えられている。実用上はこれらの構造体からの信号を送受信するための仕組みを考えなければならないが、配列構造が増加するにつれて幾何学的な制約によって配線パターンが非常に複雑になってしまう。これらのマイクロ構造を機械的に支持しかつ信号の送受信を行うための配線構造を持つパッケージング技術が必要である。ガラスを材料とした貫通配線ガラスには、シリコンと陽極接合ができるという長所がありシリコンテクノロジーをベースにしたカンチレバーアレイ製作技術との適合性に優れている。また、ガラスは絶縁材料であるので、電気絶縁が可能、寄生容量を小さくできるなどの長所がある。しかし、従来の加工技術ではガラスの貫通孔の加工が困難であるという問題があった。本研究で開発した高密度貫通配線ガラスの製作技術と MEMS 技術をベースにしたプローブ技術の融合により、マイクロサーマルスイッチ、マルチデータストレージといったユニークなデバイスが実現した。マイクロサーマルスイッチ製作の場合には、スイッチ構造の外界からの機械的保護をコンパクトに実現し、スイッチの数の増加にも対応できるすぐれた技術であることが分かった。マルチデータストレージ製作においては、機械的に脆弱なシリコンプローブアレイを支持する構造材、あるいは多数配列したプローブの制御や信号の読み書きのために LSI とつなぐインターフェースとして理想的な技術であることが分かった。このように、コンパクトでかつ分布した多機能なデバイスの実現を支える主要なパッケージング技術の一つとして本技術の有効性を確認できた。

第7章では、上記の研究結果を総括している。

論文審査結果の要旨

半導体製造技術をもとにするマイクロマシニング技術は、サイズ、品質の揃ったマイクロ構造を一括で大量に生産できる特長を持ち、マイクロ構造を知的にかつ高密度に配列、分布させることで多機能なマイクロシステムを製作することができる。一方、この特長を活かすためには、多数配列したシリコンのマイクロ構造と論理要素とを三次元的にうまくつなぐ配線及びパッケージング技術が不可欠になってくる。パイレックスガラスはシリコンと陽極接合が可能であり、このガラスに高密度の貫通配線を製作できればコンパクトなパッケージングと上記の問題解決を同時に達成できる。

本論文は、配列構造マイクロシステム用の高密度貫通配線ガラスの製作技術を新たに開発し、それを共同研究者とともに超音波イメージャー用サーマルメカニカルリレー、データ記録用マイクロプローブアレイといった独自のマイクロデバイスに応用した結果をまとめたもので、全編 7 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、本研究で開発した反応性イオンエッチング法によるパイレックスガラスの微細加工技術について述べている。パイレックスガラスの成分に起因するマスクパターン幾何形状に依存したエッチング特性を明らかにし、その影響が少ない貫通加工技術について述べている。本技術により、シリコン同様にパイレックスガラスについてもフォトリソグラフィを用いた自由なデザインと貫通加工技術が可能になっている。

第 3 章では、高密度貫通配線ガラスの製法について述べている。スルーホールめっき法で金属を埋め込み、化学機械的研磨 (CMP: Chemical Mechanical Polishing) 法で余分の金属を除去し高密度配線ガラスを製作する技術である。また、製作した配線ガラスの電気特性と温度サイクル試験による信頼性試験の結果を示している。

第 4 章では、フェムト秒レーザーによるパイレックスガラスの貫通加工技術について述べている。堆積物が少ない加工とアスペクト比が 100 を超えるような高アスペクト比加工ができることを示している。また、反応性イオンエッチング法との貫通孔の製作時間の比較を行い、フェムト秒レーザーによる加工が有利な場合について述べている。

第 5 章電気めっきの終点検知の方法と周期的逆電流パルス法などの電気めっき技術を組み合わせたオーバーめっきの抑制できるスルーホールめっき技術について述べている。この技術を用いて、製造工程に CMP を必要としない貫通配線ガラスウエハの製造が原理的に可能であることを明らかにしている。

第 6 章では、東北大学江刺研究室にて共同研究者らにより製作された、本研究の高密度貫通配線ガラス製作技術とシリコンのマルチプローブ製作技術との技術融合による、超音波イメージャー用サーマルメカニカルリレー、データ記録用マイクロプローブアレイといった新しいマイクロデバイスシステムの製作例を紹介している。これは優れた結果である。

第 7 章は結論である。

以上要するに本論文は、高密度に配列したマイクロ構造と論理要素とを三次元的にうまくつなぐ配線技術である高密度貫通配線ガラスの製作およびその実現に不可欠な微細加工技術とプロセスの研究開発を行ったもので、マイクロマシン工学ならびに機械電子工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として合格を認める。